**LutherSchmB2014.0515\_LangeSaar.docx,** PatentLangeSaar0511,0510

**Verfahren zur Nutzung staugeregelter Fließgewässer** **als Oberbecken für ein Pumpspeicherkraftwerk unter Tage**

**1. Problemstellung und Motivation**

**DE 10 2014 007 184.7**

vom 15.5.2014

**2. Stand der Technik**

**3. Lösungsansatz**

**Abgrenzung vom Stand der Technik**

**4. Durchführung und Eigenschaften**

**Engpass-Stellen**

**Wo verweilt das aus der Tiefe gepumpte ArbeitsWasser**

**Bemerkungen zu den Umweltauswirkungen**

(1.)„0“ als direktes Oberbecken

(2.) Geschlossenem Speichersystem

(3.) Was passiert biologisch?

**Natürliches Gewässer oder Künstliches Oberbecken?**

**Störung der Schiff-Fahrt?**

**5. Weitere Ausführungsformen**

**6. Vorteile der Erfindung**

**Schrifttum**

Bezugszeichen-Verzeichnis,

**Patentansprüche**

**Bildunterschriften und Bilder**

**Zusammenfassung**,

**Dr. Gerhard Luther Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking**

Universität des Saarlandes Universität Frankfurt

Experimentalphysik , Bau E26 Institut für Kernphysik

66123 Saarbrücken 60438 Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1

[luther.gerhard@ingenieur.de](mailto:luther.gerhard@ingenieur.de) [schmidtb@atom.uni-frankfurt.de](mailto:schmidtb@atom.uni-frankfurt.de)

Phon: 0681-302-2737(d) und 0681-56310(p) : 069-798 47002 und 06174-934099(p)

**Verfahren zur Nutzung staugeregelter Fließgewässer** **als Oberbecken für ein Pumpspeicherkraftwerk unter Tage**

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren, mit dem man mehrere aufeinanderfolgende Stauhaltungen eines staugeregelten Fließgewässers in ihrer Gesamtheit als Oberbecken eines Pumpspeicherkraftwerkes (PSKW) benutzen kann, dessen Unterbecken ein bergmännisch erstellter Hohlraum in großer Teufe ist.

**1. Problemstellung und Motivation**

Die Energiewende ist in Deutschland und anderswo langfristig nur durch eine Kombination von Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen (RE) und Stromspeichern möglich. Hierbei muss die Stromspeicherung zwei Anforderungen erfüllen:

* Fluktuationen in Stromproduktion und Stromverbrauch (Minutenreserve) und Kurzfristige Änderungen in der Stromproduktion im Bereich von mehreren Stunden und Tagen abpuffern
* RE Flauten im saisonalen Maßstab ausgleichen.

Hierfür ist eine Kombination zweier unterschiedlicher Speicherkonzepte erforderlich, die nach bisherigem Wissensstand sich als „PSKW-artige“ Kurzzeitspeicher und chemische Langzeitspeicher, vornehmlich Gasspeicher („Power to Gas“ Verfahren), identifizieren lassen. Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Umfeld eines unkonventionellen PSKW, dem Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (PUSKUT), bei dem das Unterbecken aus einem bergmännisch erstellten Hohlraum unter Tage besteht. Entsprechende Vorrichtungen wurden in der Literatur mehrfach beschrieben (/1/ bis /5/) sind aber unseres Wissens bisher noch nirgendwo gebaut worden. Im amerikanischen Schrifttum wird ein PUSKUT als „Underground Pumped Hydroelectric Storage (UPHS)“ bezeichnet.

In /5/ wurde der Schwerpunkt auf große PUSKUT gelegt, die auch unabhängig von einer bestehenden Bergwerks-Infrastruktur „überall“ und insbesondere in der Nähe von großen Gewässern, die als Oberbecken für das PUSKUT genutzt werden können, errichtet werden können. Die Energiewende erfordert große Speicherkapazitäten; daher sind auch bei großer Teufe des PUSKUT immer noch große Wasserströme erforderlich, die nur aus großen Wasserreservoiren oder aus dem laufenden Abfluss großer Fließgewässern (Rhein, Elbe etc.) gedeckt werden können. Auch bisher wurden schon Fließgewässer für konventionelle PSKW genutzt oder eingeplant, aber natürlich nur als Unterwasser.

Es stellt sich daher die Frage: Wie kann man es schaffen, auch mittelgroße Flüsse wie etwa die Saar, als Oberbecken für große PUSKUT einzusetzen. Die Erfindung löst dieses Problem für ein staugeregeltes Fließgewässer mit großem Querschnitt, wie dies bei den für die Schifffahrt kanalisierten „Bundeswasserstraßen“ der Fall ist.

**2. Stand der Technik**

Da bisher noch keine großen PUSKUT realisiert wurden, ist das in Kapitel 1 beschriebene Problem auch noch nicht in der Praxis aufgetreten. Bisherige Überlegungen unterstellten eine direkte Nutzung eines Fließgewässers /5/. Auch das geplante –vermutlich nun aufgegebene- Projekt „Aquabank“ der amerikanischen Firma „Riverbank Power Corporation“ wollte einen Fluss, den Black River, als Oberbecken nutzen ( Erwähnung in /6/)).

Bei konventionellen PSKW wird –je nach geographischer Lage - manchmal auch ein Fluss als Unterbecken benutzt. Beispielsweise geschieht dies in der „Hotzenwaldgruppe“ der Schluchseewerk AG, bei der der Rhein als Unterbecken genutzt wird /7/.

Es gibt auch einen inhaltlich verwandten Vorschlag: die Nutzung von Bundeswasserstraßen als oberirdische Pumpspeicherkraftwerke (/8/, /9/). Hier wird ein eigenständiges PSKW gebildet, das aus Pumpen und Turbinen in einer Schleuse und den beiden angrenzenden Stauhaltungen als Ober- bzw. Unterbecken besteht. Es wird hier jedoch – mit ähnlichen Installationen aber völlig anderer Betriebsweise- ein ganz anderer Zweck verfolgt, denn unsere Erfindung braucht die Bundeswasserstraße nicht als eigenständiges PSKW sondern nur als Oberbecken für ein sehr großes PUSKUT. (siehe auch Abschnitt „„Abgrenzung vom Stand der Technik“ im folgenden Kapitel 3).

**3. Lösungsansatz**

Jede Stauhaltung erlaubt eine gewisse Variation der Stauhöhe, die durch die Höhe der Überlaufwehre an den Schleusen eingestellt werden kann. Dieser Pegelhub legt die maximal nutzbare Speicherkapazität einer Stauhaltung fest. Der Lösungsansatz der Erfindung besteht darin, eine dem Prozesswassers des PUSKUT entsprechende Wassermenge auf mehrere Stauhaltungen zu verteilen und dadurch die Speicherkapazität aller einbezogenen Stauhaltungen zu nutzen. Dies muss aber nicht dadurch bewirkt werden, dass – beispielsweise im Pumpbetrieb des PUSKUT- das Prozesswasser direkt auf die einzelnen Stauhaltungen aufgeteilt wird. Vielmehr sieht die Erfindung vor, durch eine abgestimmte Kombination von

* einer direkten Einleitung des Prozesswassers in die nächstliegende Stauhaltung „0“
* einer Entlastung dieser Stauhaltung „0“ durch ein Hochpumpen von Wasser aus der Stauhaltung „0“ in die bergseitig benachbarte Stauhaltung „1“
* einer weiteren Entlastung dieser Stauhaltung „0“ durch ein Ablassen von Wasser aus der Stauhaltung „0“ in die talseitig benachbarte Stauhaltung „-1“
* und einer Fortführung dieser Einleitungen und Entlastungen in den jeweils bergseitig und talseitig sich anschließenden weiteren Stauhaltungen „2“, „3“ etc. und „-2“,“-3“ etc..

zu einer Aufteilung der dem Pumpvorgang des PUSKUT äquivalenten Wassermenge auf das Gesamtsystem der einbezogenen Stauhaltungen zu gelangen.

Im Turbinenbetrieb des PUSKUT ergibt sich eine äquivalente Nutzung aller beteiligten Stauhaltungen durch Umkehrung der Fließrichtungen und Austausch der Pump- und Ablassprozesse an den Schleusen.

**Abgrenzung vom Stand der Technik**

Der Unterschied der vorliegenden Erfindung zu der in Kapitel 2 (Stand der Technik) erwähnten Nutzung von Bundeswasserstraßen für eigenständige überirdische PSKW besteht in Folgendem:

* die Erfindung nutzt die gleichartige Installationen (Pumpen, Turbinen, Stauhaltungen) zu einem ganz anderen Zweck; nämlich als Oberbecken für ein viel größeres PUSKUT.
* Da der Höhenunterschied beim PUSKUT etwa 2000 m beträgt, die Fallhöhe an den Schleusen jedoch meist im Bereich um und unter 10 m beträgt und auch der Gesamthub über mehrere Stauhaltungen meist unter 50 bis 100 m bleibt, wird bei ähnlichem Wasserstrom im PUSKUT eine um eine bis zwei Größenordnung höhere Leistung erzeugt bzw. gespeichert.
* Die Erfindung setzt in der gleichen Speicherphase gleichzeitig Pumpen und Turbinen (bzw. Wehr Überläufe) ein. Der Turbinenbetrieb der Schleusen dient also gar nicht als Nutzung eines Stromspeichers sondern gleicht lediglich einen Teil des Stromaufwandes für den im gleichen Zeitraum stattfindenden Pumpbetrieb wieder aus. Dies gilt sowohl für den Lade- als auch für den Entladebetrieb des PUSKUT. Das oberirdische PSKW setzt dagegen die Pumpen nur beim Laden und die Turbinen nur beim Entladen ein.
* In der nächstliegenden Stauhaltung „0“ fließt das Wasser im PUSKUT-Betrieb von der Einleitungs-/Entnahmestelle bei voller Auslastung immer in beiden Richtungen ab bzw. zu. Bei dem oberirdischen PSKW-Betriebes fließt das Wasser dagegen in der Einspeicherperiode einheitlich bergwärts und in der Auspeicherperiode einheitlich talwärts

Andererseitsdarf man festhalten, dass die Installation eines oberirdischen PSKW (Pumpen, Turbinen, Stauhaltungen) nur durch Änderungen der Betriebsweise – allerdings bei evtl. quantitativer Nachrüstung an den Schleusen- für die in der Erfindung vorgeschlagenen Zweck eingesetzt werden kann.

**4. Durchführung und Eigenschaften**

Die Grundidee und Ausführungsformen der Erfindung werden in den Abbildungen veranschaulicht:

**Bild 1**: Pumpbetrieb des PUSKUT mit Einleitung der Wassermenge **M0** in die Stauhaltung „**0**“: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2** .

**Bild 2**: Turbinenbetrieb des PUSKUT mit Einleitung der Wassermenge **M0** in das PUSKUT **9**: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2**“.

Die Grundidee wird in **Bild 1 skizziert**, welches am einfachsten und o.B.d.A für den Fall einer ruhenden natürlichen Strömung betrachtet wird:

Im Pumpbetrieb des PUSKUT, der dem Bild 1 zugrunde liegt, wird in einer bestimmten Zeitspanne die Wassermenge **M0** in die nächstliegende Stauhaltung „**0**“ eingespeist. Dadurch wird die natürliche Strömung durch zwei zusätzliche Strömungen flussaufwärts, **M0\_auf,** und flussabwärts, **M0\_ab** , überlagert. Gleichzeitig werden jedoch an den bergseitigen Schleusen die Wassermengen **M1** und **M2** hochgepumpt und an den talseitigen Schleusendie Wassermengen **M-1** und **M-2** zusätzlich abgelassen**. (**Hierbei umfasst das Wort „hochgepumpt“ auch eine Verminderung der an den bergseitigen Schleusen abgelassenen Wassermengen.) Die an aufeinander folgenden Schleusen bewegten Wassermassen werden in Richtung einer Entfernung von der Einspeisung **M0** immer kleiner, da der jeweilige Eintrag in eine Stauhaltung zu einem Teil zu einer Anhebung des Pegels in derselben Stauhaltung führen soll. Es wird auch nicht unbedingt gewartet, bis die Einspeisungswelle an der Schleuse angekommen ist, sondern zur besseren Auslastung der Pumpen bereits im Vorgriff gestartet.

Im Turbinenbetrieb drehen sich die Pfeilrichtungen um, und die Bezeichnungen „ab“ und „auf“ müssen umgewechselt werden (**Bild 2**).

**Engpass-Stellen**

Nun betrachten wir beispielhaft für den Fall des Pumpbetriebes des PUSKUT die Leistungsfähigkeit der Erfindung. Die Zahlenwerte sind angelehnt an die Daten für die Saar.

Bei gleichem Regelquerschnitt in allen Stauhaltungen liegt ein begrenzender Punkt an der Einleitungsstelle von **M0**. Hier muss der Quellstrom **M0** in die beiden (am besten) gleichgroßen Ströme **M0\_auf**und **M0\_ab** aufgespalten werden und diese Teilströme müssen bergauf und talwärts über den Regelquerschnitt der Stauhaltung abgeführt werden. Für einen Regelquerschnitt der Saar von ca. 200 m2 ergibt sich für eine angenommene Geschwindigkeit von

**1**

**0**

**-2**

**-1**

**2**

**M-2ab**

**M-1ab**

**M-2**

**M2**

**M1**

**M2\_auf**

**M1\_auf**

**M0\_auf**

**M0**

**M0\_ab**

**M-1**

**9:PUSKUT**

**Bild 1**: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2**“ .für den Pumpbetrieb des Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (PUSKUT, 9) bei einer Einleitung der Wassermenge **M0** in die Stauhaltung „**0**“:

**1**

**0**

**-2**

**-1**

**2**

**M-2auf**

**M-1auf**

**M-2**

**M2**

**M1**

**M2\_ab**

**M1\_ab**

**M0\_ab**

**M0**

**M0\_auf**

**M-1**

**9:PUSKUT**

**Bild 2:** Turbinenbetrieb des PUSKUT mit Einleitung der Wassermenge **M0** in das PUSKUT **9**: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2**“ .

1 m/s ein berg- und talseitiger Abfluss von jeweils 200 m3/s**.** Mit **M0\_auf** = **M0\_ab** =200 m3/s kann dann insgesamt ein Wasserstrom **M0** = 400 m3/s abgeführt werden. Im Vergleich von **M0\_auf** oder **M0\_ab** mit dem HSQ =410 m3/s am Pegel Mettlach (ermittelt aus den hydrologischen Daten der Jahresreihe 1953.2001) bleibt also die Saar selbst bei dieser starken Nutzung noch im gewohnten natürlichen Bereich. (HSQ= der maximale Abfluss, bei dem noch Schiff-Fahrt möglich ist).

Eine weitere Begrenzung ergibt sich aus der erlaubten Aufnahmefähigkeit der Gesamtheit der Stauhaltungen. Bei intelligentem Vorgehen steht mit der Saar ein „Stausee“ von ca. 90 km Länge und einem –durch den Ausbau zur Bundeswasserstraße- großen Breite von ca. 50 m zur Verfügung. Dies ergibt eine Oberfläche von ca. 4 500 000 m2. Ohne Berücksichtigung des natürlichen Abflusses der Saar würde also eine Ein-und Ausspeicherung von 1 000 000 m3 zu einem mittleren Pegelhub von nur ca. 22 cm führen.

**Wo verweilt das aus der Tiefe gepumpte ArbeitsWasser**

Das direkt in die nächstliegende Stauhaltung „0“ eingeleitete „Tiefenwasser“ **M0** schiebt mit der technischen Unterstützung der bergseitigen Pumpen und talseitigen Wehre (Turbinen) das in der Stauhaltung „ 0“ stehende Wasser in die benachbarten Stauhaltungen „1“ und „-1“. Betrachten wir – in Anlehnung an die Saar zwischen Lisdorf und Rehlingen- eine Stauhaltung „0“ von 200 m2 mittlerem Querschnitt und 12 km Länge so ergibt sich ein Volumen von V0 = 2.4 [Mm3]. Bei einem Unterbecken des PUSKUT von 1.0 [Mm3] müssen also bei symmetrischem Betrieb bergwärts und talwärts maximal (d.h. ohne Berücksichtigung der Zwischenspeicherung in der Stauhaltung „0“ selbst) je 0.5 [Mm3] verdrängt werden. Bei einem für den Schifffahrtsbetrieb gerade noch zulässigen Abfluss von HSQ= 400 m3/s, der hier aber von der Einleitungsstelle aus sowohl berg-als auch talwärts erfolgt, ergibt sich ein maximal zulässiger Gesamtstrom von 800 m3/s. Die 1.0 [Mm3] Tiefenwasser könnten also insgesamt in 1250 sec, also in weniger als einer halben Stunde, aus dem Unterbecken fortgeschafft werden und würden die Stauhaltung nicht verlassen. Der Turbinenbetrieb des PUSKUT würde in gleicher Weise nur aus Wasser, das sich in der Stauhaltung „0“ befindet, gespeist werden.

Das Arbeitswasser des PUSKUT hält sich also schwerpunktmäßig im Bereich der Stauhaltung „0“ auf.

**Bemerkungen zu den Umweltauswirkungen**

(1.) In gewisser Weise könnte man daher hydrologisch die Stauhaltung „0“ als direktes Oberbecken bezeichnen und die Betrachtung der Umweltauswirkungen im Kern auf diesen Bereich beschränken:

Bei einem natürlichen mittleren Abfluss von MQ = ca. 70 m3/s (wiederum in Anlehnung an die Saar) wird bei gleichmäßigem Durchfluss das oben betrachteten Wasservolumen der Stauhaltung „0“, V0 = 2.4 [Mm3], also erst in ca. 34 h also rund 1,5 Tagen ausgewechselt. Bei dem im gewässerökologisch kritischen Sommer vorherrschenden Niedrigwasser, NMQ=10/m3/s, dauert es sogar 240 h (also 10 Tage). Hinzu kommt dass die Steuerung des natürlichen Abflusses so gesteuert werden kann, dass der natürliche Abfluss vornehmlich dann durch die Stauhaltung „0“ geleitet wird, wenn sich das Arbeitswasser des PUSKUT im Tiefenspeicher (also bei entladenem elektrischem Speicher) befindet. Auf diese Weise wird der Eintrag von Arbeitswasser des PUSKUT schwerpunktmäßig auf die nächstliegende Stauhaltung „0“ beschränkt.

(2.) Nach dem in /5/ angeregten Konzept wird das Arbeitswasser des PUSKUT untertage in einem geschlossenem Speichersystem gehalten, das eigens für diesen Zweck errichtet wurde. Es kommt also nicht mit „Grubenwasser“ in welcher Form auch immer in Berührung und bei der Errichtung können technische Anforderungen an die Dichtheit der Behälterwände gestellt werden, die einen merklichen Fremdeintrag unter das erlaubte Maß drücken. Das Arbeitswasser wird also durch den Speicherbetrieb chemisch nicht verschmutzt.

(3.) Was passiert biologisch? Dies muss noch von Gewässerökologen eingehend untersucht werden; deshalb hierzu an dieser Stelle nur einige Anmerkungen.

Fische und sonstige größere Lebewesen müssen schon aus technischen Gründen ebenso wie grobe Wasserverunreinigungen zurückgehalten werden – wie bei einem Flusskraftwerk. Niedere Lebewesen und Plankton, die wir als „Biomasse“ zusammenfassen wollen, gelangen jedoch in die Tiefenspeicher. Beim Ein- und Auspumpen unterliegen sie einer Änderung des hydrostatischen Umgebungsdruckes – bei einer Stockwerkshöhe von etwa 1000 m (siehe /5/) beträgt dies 100 bar. Die Auswirkungen dieses hohen Druckstresses sollten noch untersucht werden und den ökologischen Vorteilen eines PUSKUT gegenüber alternativen Speicherlösungen gegenüber gestellt werden.

Andererseits wird beim Schluchseewerk seit vielen Jahrzehnten /7/ schon Flusswasser aus dem Rhein für den PSKW-Betrieb eingesetzt. Sollte es biologische Bedenken wg. der höheren Drücke geben, so muss ggfls. die in  **DE 10 2013 019 776.7** /5/ beschriebene Stockwerkshöhe im Hydraulikschacht entsprechend verringert werden.

Die Dunkelheit im Tiefspeicher scheint dagegen weniger kritisch zu sein; die Natur hat sich bereits darauf eingestellt, dass es in der Nacht dunkel ist und die Länge der Nächte unterschiedlich ist.

**Natürliches Gewässer oder Künstliches Oberbecken?**

Eine Stauhaltung ist natürlich sowieso kein natürliches Gewässer im eigentlichen Sinn mehr sondern eine „Gewässer Kulturlandschaft“. Diese ist jedoch auch auf Grund einer ökologisch orientierten Planung zu einem ebenso wertvollen Biotop geworden (zumindest bei uns an der Saar). Durch die erfindungsgemäße Ausweitung der Nutzung einer Bundeswasserstraße mag sich die „Kulturlandschaft“ etwas verändern –aber dies muss nicht unbedingt eine ökologische Verschlechterung sein. Im Übrigen sollten die bewährten Grundsätze des Naturschutzes zu Anwendung kommen: Vermeidbare Umweltauswirkungen vermeiden und unvermeidbare Schäden ausgleichen.

Aus unserer Sicht bringt die vorgeschlagene Nutzung einer -im Vergleich zu einem eigenständigen technischen Oberbecken- geradezu „natürlichen“ Bundeswasserstraße erhebliche ökologische Vorteile:

* Kein (weiterer) Landschaftseingriff
* durch die große Oberfläche ergeben sich nur kleine Pegeländerungen, so dass sonstige Nutzungseinschränkungen vermieden werden können. Bei geeigneter Ausführung wirkt selbst das Einlaufbecken nicht viel anders als die Einmündung eines Flusses in einen See.
* Das Arbeitswasser verbleibt zwar schwerpunktmäßig in der nächstliegenden Stauhaltung „0“; diese wird aber regelmäßig durch den natürlichen Abfluss durchgespült und dadurch auch das Arbeitswasser auf mittlere Sicht erneuert.

**Störung der Schiff-Fahrt?**

Solange die Fließgeschwindigkeit an keiner Stelle der Stauhaltungen betragsmäßig größer wird als es der HSQ-Wert erlaubt, ergeben sich für Schiff-Fahrt keine neuen Probleme. Die Schiffskapitäne müssen sich zwar wohl erst daran gewöhnen, dass Ihnen das Wasser von der „Talseite“ entgegenkommt. Geschickte Freizeit – Kapitäne und Wassersportler werden davon profitieren und ihre Exkursionen nach den Speicherphasen des PUSKUT-Betriebes ausrichten!

Die Einmündung des Quellstromes Q0 wirkt ähnlich wie die Einmündung eines Flusses in einen See oder einen größeren Fluss. Ähnliches gilt für die Entnahme des Quellstromes. Nicht notwendig aber vermutlich unter Teilaspekten vorteilhaft wird es sein, das Einlauf/Entnahme- Bauwerk –falls wählbar- in der Nähe einer Schleuse anzulegen.

**5. Weitere Ausführungsformen**

In vielen Schleusen staugeregelter Fleißgewässer sind bereits Turbinen zur Stromgewinnung aus der natürlichen Strömung installiert. Diese können in gleicher Weise auch in der Erfindung eingesetzt werden. Je nach Wirtschaftlichkeit können auch Turbinen nachgerüstet werden; der Rest kann problemlos über das Wehr abgelassen werden, das ja sogar für seltene Hochwasserereignisse ausgelegt ist.

Je nach erforderlichem Wasserfluss und der Wassermenge, die im Oberbecken des PUSKUT zwischen zu speichern ist und unter Einbezug der natürlichen Wasserströmung des Fließgewässers wird man die Anzahl der zu benutzenden Stauhaltungen aktuell festlegen. Hierbei sollte auch berücksichtigt werden, dass die in der Lade und Entladezeit des PUSKUT insgesamt aufzuwendende Pumparbeit möglichst klein ist, um die Pump-und Turbinenverluste klein zu halten. Daher wird man bei Einzelentscheidungen in der Regel die Alternative mit dem kleineren Hub an der Schleuse bevorzugen.

Wesentlich für die Betriebsoptimierung ist ein hydraulische Modell der Stauhaltungen, das jedoch ähnlich wie für Hochwasserberechnungen vermutlich näherungsweises und summarisch sein kann. In Verbindung mit der Prognose für den Lade- und Entladezeitraum des PUSKUT ergibt sich daraus ein detaillierter Einsatzplan für Pumpen und Turbinen der Schleusen. Da die Bundeswasserstraßen derzeit schon durch die zuständigen Behörden intensiv überwacht und bewirtschaftet werden, kann auf langjährige Erfahrungen und vermutlich bereits vorhandene Betriebssoftware zurückgegriffen werden. Hydraulisch ist es ja gleichgültig, ob eine Strömungssituation aus natürlicher Quelle oder aus technischer Einleitung entstanden ist.

Die für den Betrieb einer Bundeswasserstraße als Oberbecken eines PUSKUT notwendige Aufrüstung der Schleusen ermöglicht technisch auch einen Betrieb der Bundeswasserstraße als überirdisches PSKW, - wie in /8/ und /9/ beschrieben. Die gesamte Anlage kann daher auch im Kombibetrieb betrieben werden: zu gewissen Zeiten im PUSKUT-Modus in einem anderen Zeitbereichen als überirdisches PSKW. So lassen sich vielleicht kleine örtliche Netzfluktuationen mit dem überirdischen PSKW alleine abfangen.

Die Gesamtanlage muss aber koordiniert und natürlich unter Einbezug der Erfordernisse für die Schifffahrt betrieben werden. Bei dem hohen Stand der Informationstechnik und der für die Zukunft erwarteten Fortschritte der Prognose des RE -Aufkommens wird dies für beherrschbar gehalten.

Die Erfindung kann natürlich auch auf ein herkömmliches überirdisches PSKW angewendet werden, dessen Unterbecken ein staugeregeltes Gewässer ist. Für die Funktionsweise ist es gleichgültig, woher der Quellstrom **M0** stammt. Dadurch wird es möglich, nicht nur – wie bisher- große Ströme wie den Rhein als Unterbecken für PSKW zu nutzen.

**6. Vorteile der Erfindung**

* Die Erfindung ermöglicht es, staugeregelten Gewässer auch bei geringen natürlichen Abflüssen als **Oberbecken** für große Pumpspeicherkraftwerke unter Tage (PUSKUT) zu betreiben.
* Das PUSKUT wird damit (fast) zu einem „**Unsichtbaren PSKW**“, ohne störenden Landschaftseingriff (man vergleiche dies mit der Naturzerstörung durch ein konventionelles PSKW).
* Durch die Aktivierung der Speicherkapazitäten einer ganzen Kette von Stauhaltungen ergibt sich nur eine geringfügige Pegelanhebung, so dass die **sonstige Nutzung** der Bundeswasserstraße nicht beeinträchtigt wird.
* Dazu sind bei einer bestehenden Bundeswasserstraße nur relativ **geringe Zusatzinvestitionen** erforderlich.
* Die Kosten für ein eigenständiges Oberbecken werden vermieden.
* Die Erfindung ermöglicht es in gleicher Weise, staugeregelten Gewässer auch bei geringen natürlichen Abflüssen als **Unterbecken** für große konventionelle Pumpspeicherkraftwerke zu betreiben

**Schrifttum**

/1/ R. D. **Allen**, T. J. **Doherty** und L. D. **Kannberg:** UNDERGROUND PUMPED HYOROELECTRJC STORAGE (1984),   
 Report prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-ACD6-76RLO 1830 , Battelle Institute, Pacific Northwest Laboratory Richland, Washington 99352, USA  
Verfügbar über: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/6517343/6517343.pdf>

/2/ Gregory **Martin** und Dr. Frank **Barnes** (2007): „Aquifer Underground Pumped Hydro“   
CERI Research Report, University of Colorado. Verfügbar über: <http://www.colorado.edu/engineering/energystorage/files/Aquifer_UPHS_Report_2007-06-30.pdf>

/3/ W. F**. Pickard** : “The History, Present State, and Future Prospects of Underground Pumped Hydro for Massive Energy Storage”  
Proceedings of the IEEE, Volume 100 Issue 2 , (2012), p. 473-483,

/4/ H.-P. **Beck**, M. **Schmidt** (Hrsg.): „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“, Universitätsbibliothek Clausthal (2011), ISBN 978-3-942216-54-8   
Als Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens des Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Goslar, verfügbar über:  
 [http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:gbv:104-2011EB11300](http://mail.ingenieur.de/de?i=1292421789733&s=&t=/Default/openExternalURL&url=aHR0cDovL25ibi1yZXNvbHZpbmcuZGUvdXJuL3Jlc29sdmVyLnBsP3Vybj11cm46bmJuOmRlOmdidjoxMDQtMjAxMUVCMTEzMDA%3D)

/5/ G. **Luther** und H. **Schmidt- Böcking**: „Tiefschacht-Pumpspeicherkraftwerk“, Deutsche Patentanmeldungen **DE 10 2013 019 776.7** und **DE 10 2011 105 307 A1**

/6/ Stanislav **Pejovic**: „White Paper Hydro Energy Storage“,   
Ryerson University, Faculty of Engineering, Architecture and Science, Centre for Urban Energy, Toronto (2011)  
<http://stanpejovic.com/WP%20on%20Hydro%20Energy%20Storage%20S%20Pejovic.pdf>   
Das „Aquabank“ Projekt ist auf S. 52 ff. dargestellt

/7/ Schluchseewerk AG, 79725 Laufenburg (Baden): Broschüre „ Die Hotzenwaldgruppe“

<http://www.schluchseewerk.de/uploads/media/Broschuere_Hotzenwald_Gruppe.pdf>

/8/ P. **Stenzel (2012) „Pumped hydro storage in federal waterways - an evaluation of potentials for Germany“, Vortrag C2 auf der Eurosolar Speichertagung IRES 2012,** <http://www.eurosolar.de/de/index.php/ires-konferenzreihe/ires-2012>

**Folien erhältlich über:** <http://www.eurosolar.de/de/index.php/publikationen-mainmenu-54>

/9/ T. **Schomerus** (2011) „Energy storage in federal waterways “, **Vortrag B3 auf der Eurosolar Speichertagung IRES 2011,:** <http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/Conference_Programme_IRES2011.pdf>

**Folien erhältlich über :** <http://www.eurosolar.de/de/index.php/publikationen-mainmenu-54>

**Bezugszeichen:**

**0** = zum PUSKUT nächstliegende Stauhaltung

**1** = Stauhaltung (bergseitig von Stauhaltung 0)

**2** = Stauhaltung (bergseitig von Stauhaltung 1)

**3** = Stauhaltung (bergseitig von Stauhaltung 2), usw.

**-1** = Stauhaltung (talseitig von Stauhaltung 0)

**-2** = Stauhaltung (talseitig von Stauhaltung -1)

**-3** = Stauhaltung (talseitig von Stauhaltung -2), usw.

**9** = PUSKUT (Pumpspeicherkraftwerk unter Tage

**Namens Konvention der Wasserströme**:

Der Prozesswasserstrom des PUSKUT wird mit **M0** bezeichnet.

Die Wasserströme in den Stauhaltungen werden durch Pfeile angegeben und mit einem Variablennamen gekennzeichnet, der aus der Kennung „**M**“, dem Index der Stauhaltung und einem Zusatz „**auf**“ bzw. „**ab**“ für die bergwärtige bzw. talwärtiige Fließrichtung besteht. Beispielsweise bezeichnet **M-2ab** den talwärtigen Wasserstrom in der Stauhaltung „-2“.

Die Wasserströme in den Schleusen werden in den von der nächstliegenden Stauhaltung “0“ aus gesehenen bergseitigen Schleusen durch die Kennung „**M**“ und dem Indes der bergseitigen Stauhaltung benannt; analog wird in den talseitigen Schleusen der Index von deren talseitiger Stauhaltung benutzt.

**Patentansprüche:**

1. **Vorrichtung** zur Speicherung von elektrischer Energie nach dem Prinzip eines Pumpspeicherkraftwerkes unter Nutzung eines staugeregelten Fließgewässers mit mehreren Staustufen und Schleusenanlagen als Oberbecken bestehend aus

* einem Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (PUSKUT) mit einem Hydraulikschacht in der Nähe eines staugeregelten Fließgewässers (z.B. Fluss, Kanal)
* einem Einlauf- und Entnahme- Bauwerk für das Arbeitswasser des PUSKUT“, welches dieses Wasser in die nächstliegende Staustufe „0“ sowohl talwärts als auch bergwärts einleiten bzw. entnehmen kann
* Pumpen in den Schleusen, die einen vorgegebenen Wasserstrom in das jeweilige Oberwasser hochpumpen
* einer Intelligente Steuerung, die die Pumpen bzw. die bereits vorhandenen Überlaufwehre der Schleusen in einer optimierten Zeitsteuerung an die Anforderungen und den Betrieb des PUSKUT anpassen

**2.** **Verfahren** zur Nutzung eines staugeregelten Gewässers, das mit einer Vorrichtung nach **Anspruch 1** ausgestattet ist, als Oberbecken für ein PUSKUT, welches   
für den Pumpbetrieb aus den folgenden zeitlich kontrolliert aufeinander abgestimmten Verfahrensschritten besteht:

* Einleitung des aus dem PUSKUT herausgepumpten Arbeitswasser in die nächstliegende Staustufe „0“ durch das Einlauf- und Entnahmebauwerk der Vorrichtung nach Anspruch 1
* Heraufpumpen von Unterwassers der bergseitigen Schleuse der Staustufe „0“ in ihr Oberwasser und damit in die bergseitig vorangehende Staustufe „1“ , wobei die zeitliche Steuerung dieses Pumpvorganges durch eine intelligente Steuerung nach Menge und Zeitverlauf kontrolliert wird,
* Kontrolliertes Heraufpumpen von Unterwassers der bergseitigen Schleusen der bergseitig vorangehenden Staustufe „2“, „3“ usw. in das jeweilige Oberwasser,
* Kontrolliertes zusätzliches Ablassen von Oberwasser über das Wehr der talseitigen Schleuse der Staustufe „0“ in ihr Unterwasser und damit in die talseitig folgende Staustufe „-1“ , wobei die zeitliche Steuerung dieses Ablassvorgange durch eine intelligente Steuerung nach Menge und Zeitverlauf kontrolliert wird,
* Kontrolliertes zusätzliches Ablassen von Oberwasser über die Wehre der talseitigen Schleusen in die jeweils talwärts aufeinander folgenden Staustufen „-2“, „-3“ usw. in das jeweilige Unterwasser.

und für den Turbinenbetrieb des PUSKUT aus den folgenden zeitlich kontrolliert aufeinander abgestimmten Verfahrensschritten besteht:

* Entnahme vorn Arbeitswasser über das Einlauf- und Entnahmebauwerk der Vorrichtung nach Anspruch 1 aus der nächstliegende Staustufe „0“
* Zusätzliches Ablassen von Oberwasser über das Wehr der bergseitigen Schleuse der Staustufe „0“, also von Wasser aus der bergseitig vorangehende Staustufe „1“ in die Staustufe „0“, wobei die zeitliche Steuerung dieses Ablassvorganges durch eine intelligente Steuerung nach Menge und Zeitverlauf kontrolliert wird,
* Kontrolliertes zusätzliches Ablassen von Oberwasser der bergseitigen Schleusen der bergseitig vorangehenden Staustufe „n“, „n-1“ usw. in das jeweilige Unterwasser,
* Heraufpumpen von Unterwassers der talseitigen Schleuse der Staustufe „0“ in ihr Oberwasser, also von der Stauhaltung „-1“ in die Stauhaltung „0“ hinein , wobei die zeitliche Steuerung dieses Pumpvorganges durch eine intelligente Steuerung nach Menge und Zeitverlauf kontrolliert wird,
* Kontrolliertes Heraufpumpen von Unterwassers der talseitigen Schleusen der jeweils talwärts aufeinander folgenden Stauhaltungen „-1“, „-2“ usw. in das jeweilige Oberwasser, also von den Stauhaltungen „-2“, „-3“ usw. in die Stauhaltungen „-1“, „-2“ usw. hinein.

**3.** Verfahren **nach Anspruch 2** dadurch gekennzeichnet, dass das Ablassen von Wasser über die Schleusen in Wasserturbinen mit Stromerzeugung erfolgt.

4. Verfahren **nach Anspruch 2 und Anspruch 3** dadurch gekennzeichnet, dass die Inanspruchnahme der einzelnen Stauhaltungen zu Speicherzwecken nach der Höhe der absoluten Pegeldifferenz bezüglich der Stauhaltung „0“ priorisiert wird.

**5** Verfahren nach den **Ansprüchen 2- 4** dadurch gekennzeichnet, dass das staugeregelte Gewässer nicht als Oberbecken eines PUSKUT sondern als Unterbecken eines herkömmlichen PSKW genutzt wird.

**Bildunterschriften und Bilder**

**Bildunterschriften:**

**Bild 1**: Pumpbetrieb des PUSKUT mit Einleitung der Wassermenge **M0** in die Stauhaltung „**0**“: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2** .

**Bild 2**: Turbinenbetrieb des PUSKUT mit Einleitung der Wassermenge **M0** in das PUSKUT **9**: Schema der Wasserströme in den Stauhaltungen „**2**“ bis „-**2**“.

**1**

**0**

**-2**

**-1**

**2**

**M-2ab**

**M-1ab**

**M-2**

**M2**

**M1**

**M2\_auf**

**M1\_auf**

**M0\_auf**

**M0**

**M0\_ab**

**M-1**

**9:PUSKUT**

**Bild 1**:

**1**

**0**

**-2**

**-1**

**2**

**M-2auf**

**M-1auf**

**M-2**

**M2**

**M1**

**M2\_ab**

**M1\_ab**

**M0\_ab**

**M0**

**M0\_auf**

**M-1**

**9:PUSKUT**

**Bild 2:**

**Kurzfassung**

**Verfahren zur Nutzung staugeregelter Fließgewässer** **als Oberbecken für ein Pumpspeicherkraftwerk unter Tage**

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren, mit dem man mehrere aufeinanderfolgende Stauhaltungen eines staugeregelten Fließgewässers in ihrer Gesamtheit als **Oberbecken** eines Pumpspeicherkraftwerkes (PSKW) benutzen kann, dessen Unterbecken ein bergmännisch erstellter Hohlraum in großer Teufe ist. Derartige „PSKW unter Tage“, abgekürzt „PUSKUT“ (englisch: Underground Pumped Hydroelectric Storage (UPHS)), werden als ein wichtiger Baustein für die Energiewende angesehen (/5/).

Der Lösungsansatz der Erfindung besteht in dem in dem Bild beispielhaft dargestellten Pumpbetrieb darin, eine dem Prozesswassers des PUSKUT entsprechende Wassermenge **M0** auf mehrere Stauhaltungen zu verteilen und dadurch nicht nur die nächstliegende Stauhaltung „0“ sondern die Speicherkapazität aller einbezogenen Stauhaltungen „2“ bis „-2“ zu nutzen. Dies wird durch eine abgestimmte Kombination von direkter Einleitung in die Stauhaltung „0“ und gleichzeitiger Entlastung der Stauhaltung „0“ durch Hochpumpen an den bergseitigen Schleusen und durch Ablassen an den talseitigen Schleusen erreicht.

Im Turbinenbetrieb des PUSKUT ergibt sich eine äquivalente Nutzung aller beteiligten Stauhaltungen durch Umkehrung der Fließrichtungen.

Das Verfahren kann natürlich auch auf ein herkömmliches überirdisches PSKW angewendet werden, dessen **Unterbecken** ein staugeregeltes Gewässer ist. Für die Funktionsweise ist es gleichgültig, woher der Quellstrom **M0** stammt.

**1**

**0**

**-2**

**-1**

**2**

**M-2ab**

**M-1ab**

**M-2**

**M2**

**M1**

**M2\_auf**

**M1\_auf**

**M0\_auf**

**M0**

**M0\_ab**

**M-1**

**9:PUSKUT**

**Bild 1**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

**Bemerkung für den Patentprüfer**:

Die Vorrichtung nach **Anspruch 1** habe ich nur aus sprachlichen Gründen eigenständig formuliert.

Falls diese ungewöhnliche Vorrichtung, im Kern eine Kombination von Untertage PSKW und einer Bundeswasserstraße mit zusätzlichen Pumpen in den Schleusen , als eigenständiger Anspruch nicht gewährbar wäre, kann man den Inhalt von Anspruch 1 in den Text des Verfahrensanspruches 2 aufnehmen. Dieses dann entstehende sprachliche Ungetüm würde ich jedoch gerne vermeiden.

Daher habe ich mich bemüht, den Anspruch 1 möglichst eng zu formulieren und durch den Einbezug des PUSKUT ausgeschlossen, dass er sich z.B. auf die bloße Benutzung einer Bundeswasserstraße als eigenständiges PSKW bezieht.

Andererseits dehne ich in **Anspruch 5** das gesamte Verfahren auch auf ein herkömmliches PSKW aus. Ich hoffe, dass die gut verständliche knappe Formulierung mit dem Austausch des „Oberbecken eines PUSKUT“ durch das „Unterbecken eines konventionellen PSKW“ möglich ist.

\*\*\*\*\*\*\*\*\* \*\*\*\*